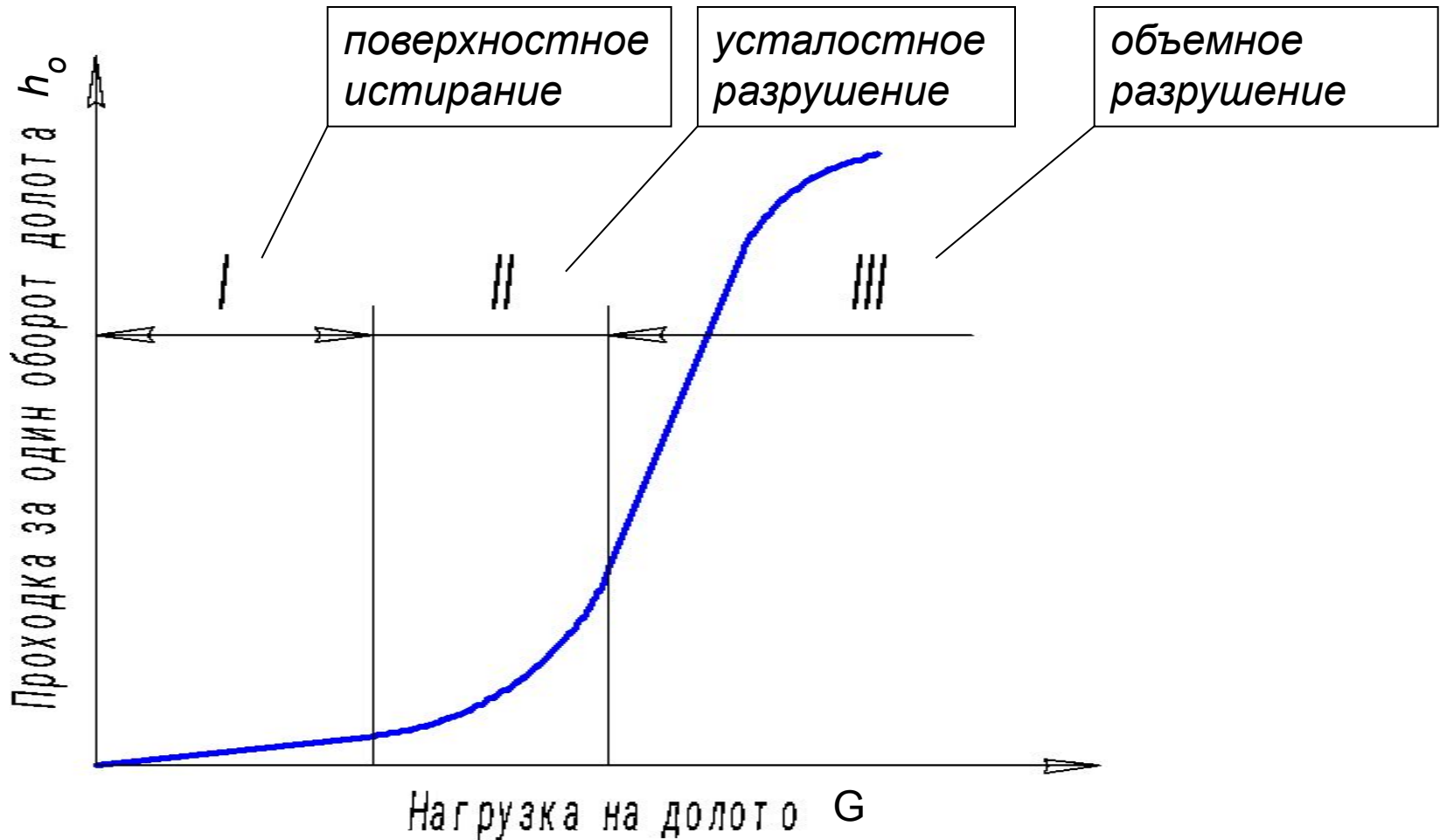


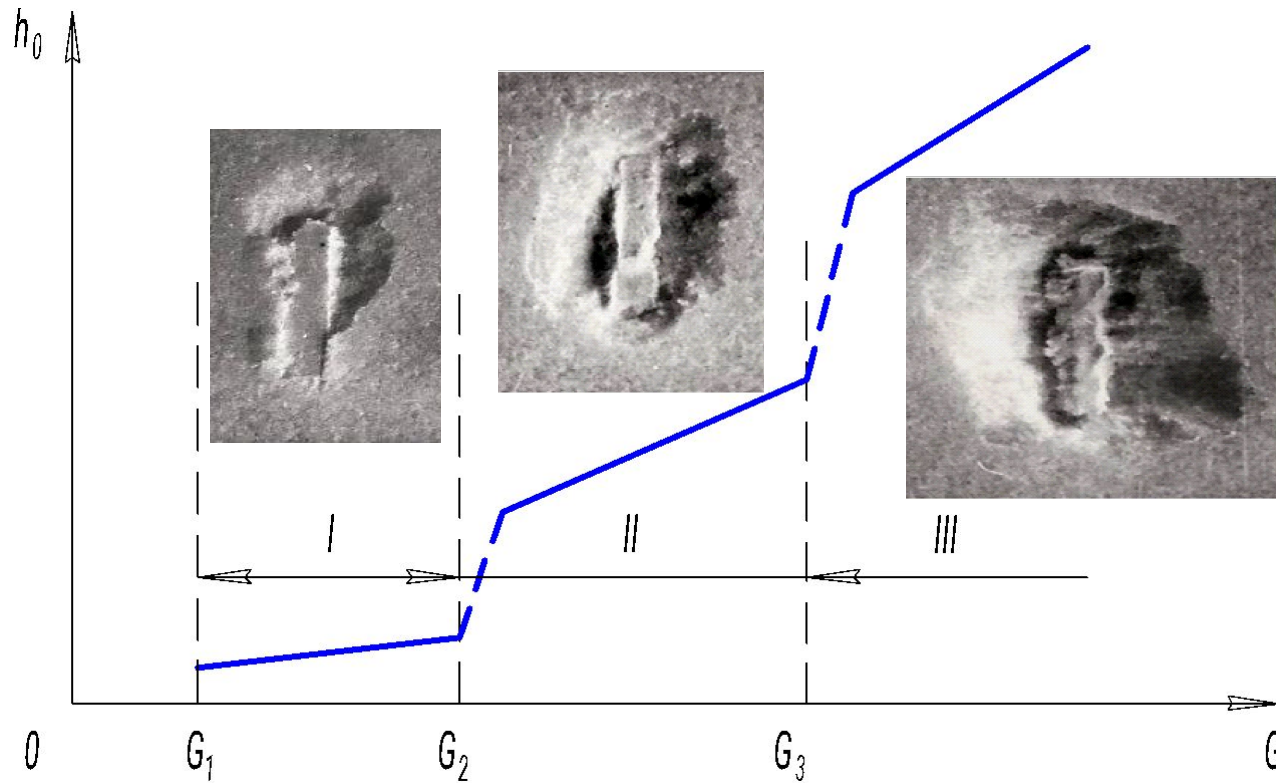
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ  
РАЗРУШЕНИЯ  
ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ОСЕВЫХ  
НАГРУЗОК НА ДОЛОТА**

# Виды и области разрушения горных пород при бурении скважин

Зависимость интенсивности разрушения горной породы  $h_0$  от осевой нагрузки на долото  $G$ :



# Области и вид объемного разрушения горной породы элементом вооружения в виде притупленного клина



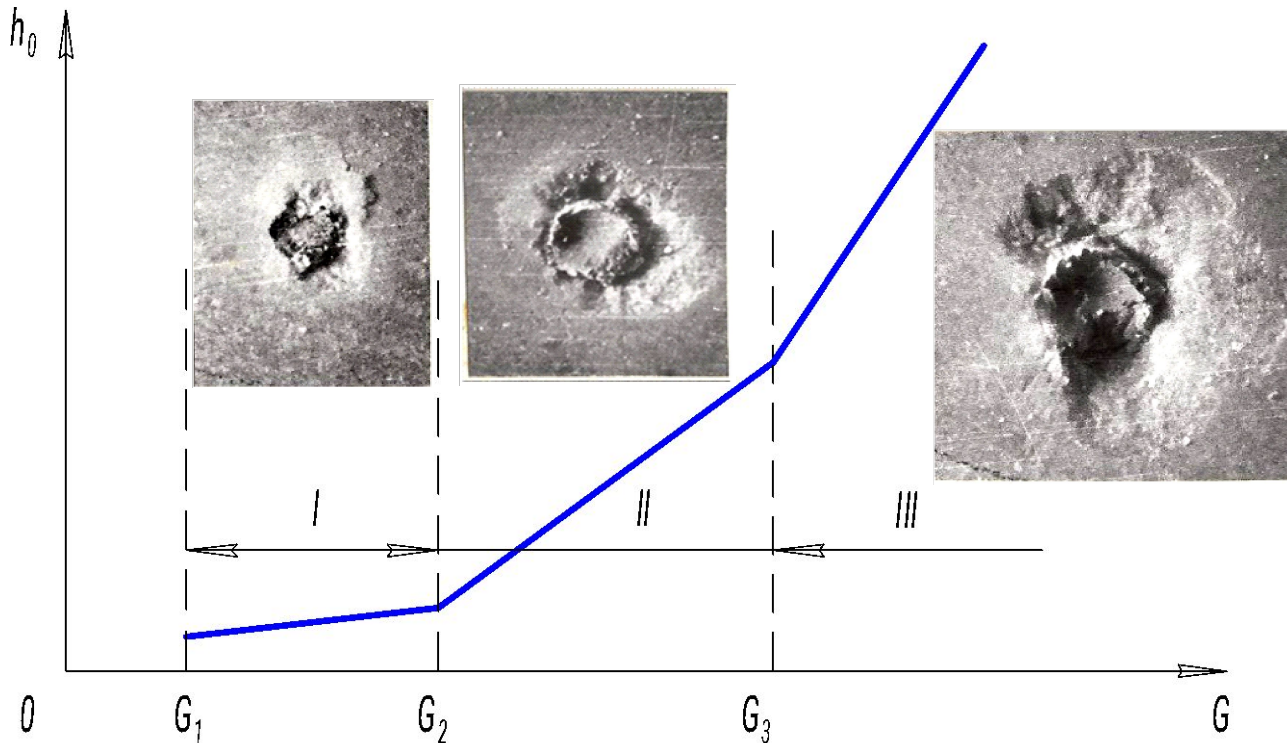
где:  $h_0$  - глубина внедрения зубьев долота в горную породу

$G$  – осевая нагрузка на долото

( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  – осевые нагрузки, соответствующие скачкам разрушения)



# Области и вид объемного разрушения горной породы элементом вооружения со сферической рабочей поверхностью



где:  $h_0$  – глубина внедрения зубьев долота в горную породу

$G$  – осевая нагрузка на долото

( $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  – осевые нагрузки, соответствующие скачкам разрушения)

**Всего бывает до 4-х областей разрушения горной породы**

**При анализе и обобщении экспериментальных промысловых и лабораторных исследований разрушения горных пород удобно пользоваться не натуральными, а безразмерными характеристиками.**

Поэтому, осевая нагрузка  $G_k$ , соответствующая *k-ому* скачку разрушения, приводится к безразмерному виду  $G'_k$  :

$$G'_k = k_d \cdot G_k / G_s,$$

где  $k_d$  – коэффициент динамичности нагружения долота ( $G_{max} / G_{cm}$ );

$G_k$  - осевая нагрузка *k*-го скачка разрушения породы;

$G_s$  – осевая нагрузка, необходимая для достижения предела текучести в горной породе под вооружением долота.

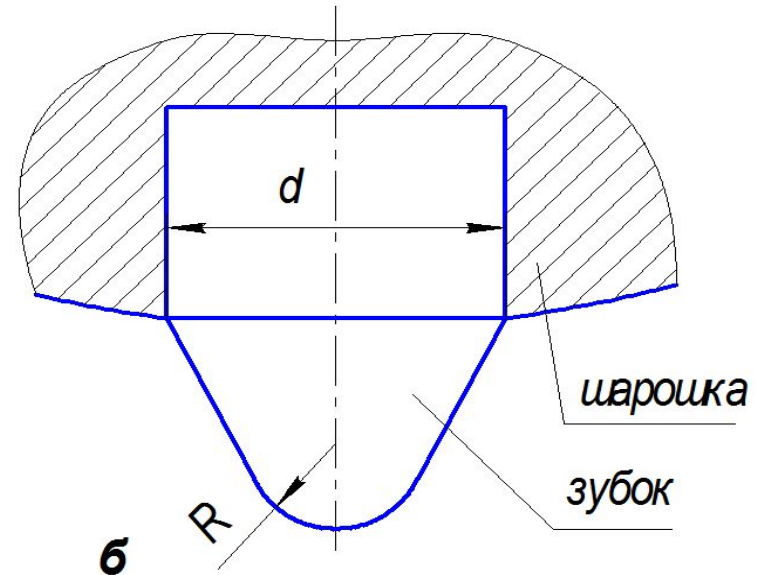
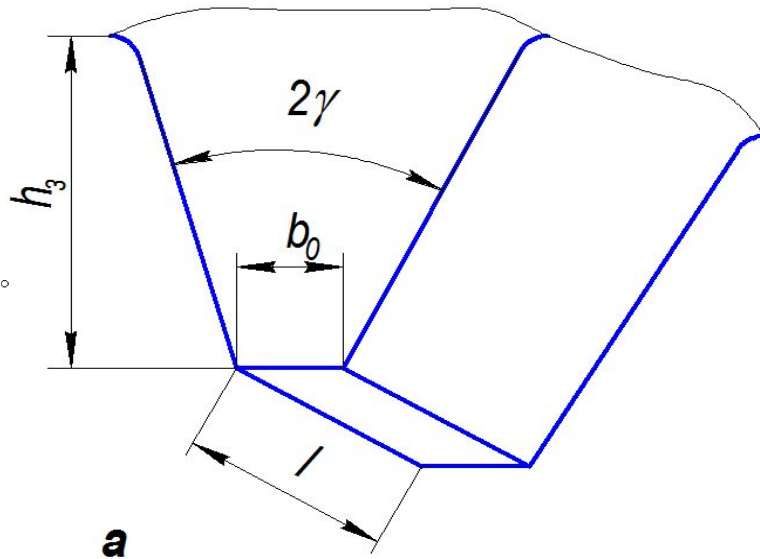
Величина  $G_s$  рассчитывается по пределу текучести в забойных условиях и по геометрическим параметрам вооружения долот :

$$G_s = p_{03} \cdot S,$$

где  $p_{03}$  – предел текучести горной породы по штампу, приведенный к забойным условиям, МПа;  $S$  – площадь контакта вооружения долот с горной породой, мм<sup>2</sup>.

Для расчета  $G_s$  нужны геометрические характеристики элементов вооружения долот

Элементы вооружения шарошек 1-го (а) и 2-го (б) классов:



$b_0$  – начальное притупление зуба;  
 $l$  – средняя длина рабочей поверхности зуба;  
 $\gamma$  – половина угла при вершине зуба;  
 $h_з$  – высота зуба.

$d$  – диаметр зубка;  
 $R$  – радиус скругления вершины зубка:  
 $R_c$  – цилиндром,  
 $R_s$  – сферой.

Значения параметров приведены в таблицах 4.3 и 4.4. методички

Рассчитанные таким образом по данным стендового бурения безразмерные нагрузки на долота 1-го и 2-го классов сведены в таблицу (таблица 4.6 методички)

Безразмерные нагрузки на долото, соответствующие началу областей разрушения породы вооружением долот  
(таблица 4.6)

Элемент вооружения	Подгруппа долота по скалывающей способности	Значения $G'_{кп}$ , $G'_{кц}$ и $G'_{кс}$ по скачкам			
		1	2	3	4
Притупленный клин (п)	1 - СТ, Т,	0,4	1,64	2,37	3,10
	2 - С,	0,4	1,38	2,06	2,90
	3 - М	0,4	1,28	1,96	2,60
Конусно-клиновой зубок (ц - цилиндрическая рабочая поверхность)	1 - ТЗ, ТКЗ;	1,8	4,0	11,0	19,2
	2 - СЗ, МС, МСЗ;	1,4	3,6	10,7	18,6
	3 - ОМЗ и МЗ.	1,4	3,5	10,6	18,4
Конусно-сферический (с - сфера)	1 - К, ОК	25	54	86	135



# Расчет областей разрушения горной породы и осевых нагрузок на долота

Для определения области разрушения, которую может обеспечить выбранное долото, необходимо привести **предельную** осевую нагрузку на долото к безразмерному виду  $G'_п$ :

$$G'_п = k_д \cdot G_п / Gs,$$

где  $k_д$  – коэффициент динамичности нагружения долота;

$G_п$  – предельная паспортная осевая нагрузка на долото.

*В расчетах принять  $k_д$  равным 1,3; 1,2 и 1,1 соответственно для долот 1, 2 и 3-й подгрупп по скалывающей способности.*

Величину  $Gs$  для долот первого класса рассчитать по формуле:

$$Gs = p_{03в} \cdot S = p_{03в} \cdot (\sum I_i) b_0 \cdot v .,$$

где  $\sum I_i$  – сумма длин рабочих поверхностей зубьев по одному с каждого венца;  $b_0$  – начальное притупление зубьев (см. таблицу 4.3 методички);  $v$  – коэффициент, учитывающий количество одновременно контактирующих с забоем зубьев долота (принять  $v = 0,30$ ).



## Далее

Рассчитанную величину  $G'_{\Pi}$  сопоставить с величинами **безразмерных нагрузок на долота**, приведенными в [таблице 4.6](#) методички и сделать вывод какой **скачок разрушения** и, соответственно, какая **область разрушения** горной породы будут получены при создании на долото **предельной нагрузки**.

Поскольку при **предельной** осевой нагрузке бурить нельзя, то для расчёта **рабочего диапазона осевых нагрузок** на долото перейти в **предыдущую** область разрушения горной породы

**Затем** вычислить верхнюю  $G_{в}$  и нижнюю  $G_{н}$  нагрузки на долото для принятой области разрушения.

*Если  $G'_{\Pi}$  соответствует  $k$ -ой области разрушения, то выбрать  $(k - 1)$ -ю область).*

В этом случае **верхняя нагрузка**  $(k-1)$ -ой области разрушения породы принимается равной нижней нагрузке  $k$ -ой области ( $k$ -ого скачка), т. е.

$$G_{в(k-1)} = G_{нк} = G'_{кп} \cdot Gs/k_{д},$$

где  $G_{в(k-1)}$  – верхняя нагрузка  $(k-1)$ -ой области разрушения породы;

$G_{нк}$  - нижняя нагрузка  $k$ -ой области;

$G'_{кп}$  – безразмерная нагрузка начала  $k$ -ой области.

**Нижняя нагрузка**  $(k-1)$ -го скачка:

$$G_{н(k-1)} = G'_{(k-1)\Pi} \cdot Gs/k_{д},$$

## Например:

1) для долота типа С получена величина  $G'_п = 2,84$ .

Это означает, (см. [табл. 4.6](#)) что при создании предельной нагрузки может быть получен **третий скачок разрушения породы** при переходе на **четвертый** – это [третья область р.г.п.](#) Верхнюю нагрузку на долото необходимо считать из условия достижения **третьего** скачка разрушения:

$$G_B = G'_{3п} \cdot G_s / k_{\partial} = G'_{3п} \cdot v \cdot (\sum I_i) b_0 \cdot p_{03в} / k_{\partial},$$

а **нижнюю** из условия достижения **второго** скачка разрушения:

$$G_H = G'_{2п} \cdot G_s / k_{\partial} = G'_{2п} \cdot v \cdot (\sum I_i) b_0 \cdot p_{03в} / k_{\partial}.$$

2) для долота типа Т получена величина  $G'_п = 0,37$ .

Это означает, что при создании предельной нагрузки **не может быть получено объемного разрушения породы** (разрушение будет усталостное или истиранием), нагрузку на долото определяют как:

$$G_B = 0,8 \cdot G_п; G_H = 0,5 \cdot G_п$$

3) для долота типа Т получена величина  $G'_п = 0,9$ .

Это означает, что при создании предельной нагрузки может быть получен **первый скачок** разрушения породы, нагрузку на долото определяют как:

$$G_D = G'_{1п} \cdot G_s / k_{\partial} = G'_{1п} \cdot v \cdot (\sum I_i) b_0 \cdot p_{03в} / k_{\partial},$$

Если  $G_D < 0,8G_п$ , то  $G_B = 0,8G_п$ , а  $G_H = G_D$ , иначе  $G_B = 0,8 \cdot G_п; G_H = 0,5 \cdot G_п$

Расчет для долота 1-го класса выполнить при новом (износ зубьев по высоте  $h = 0$ ) и изношенном вооружении:

$h = 0,25h_0$ ;  $h = 0,50h_0$  и  $h = 0,75h_0$ , где  $h_0$  – начальная высота зубьев (величину см. в таблице 4.3 методички).

При этом в формуле (4.9) методички будет изменяться только притупление  $b$ : от начального  $b_0$  до рассчитанного по формуле

$$b = b_0 + 2h \cdot \operatorname{tg} \gamma,$$

где  $\gamma$  – половина угла при вершине зуба.

Величины углов  $\gamma$  приведены в таблице 4.7 методички.

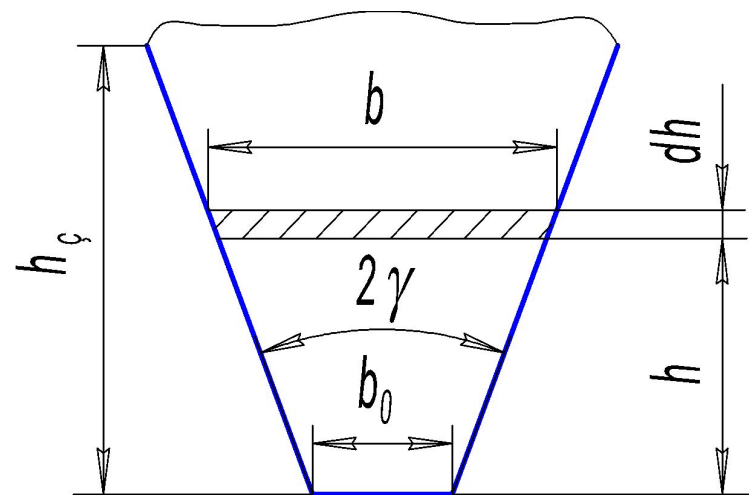


Схема износа зуба

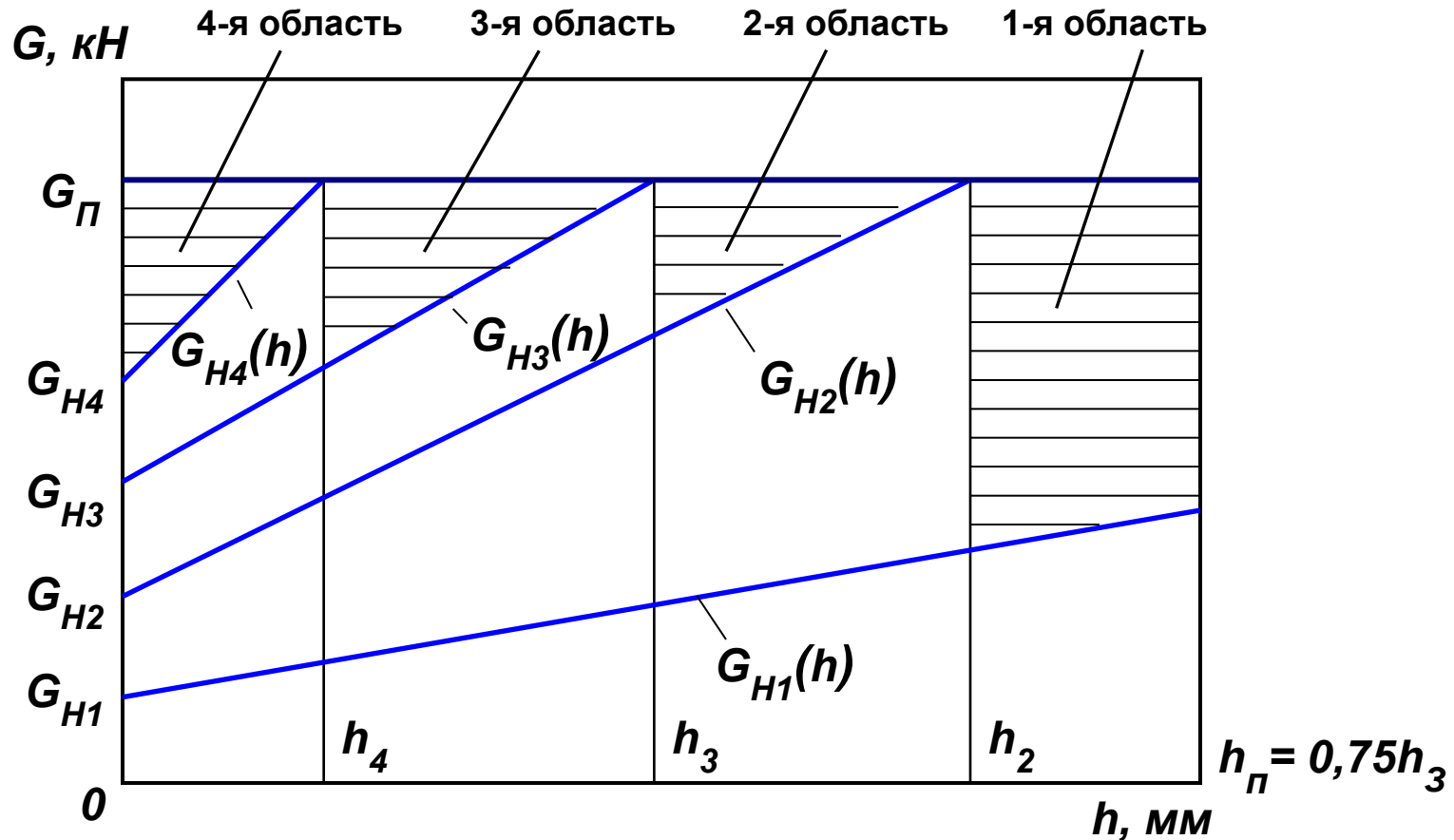
По мере выполнения расчетов  $G_{н.к}$  заполнить итоговую таблицу 4.8.

## Исходные данные и результаты расчетов осевой нагрузки на долото типа.... (таблица 4.8 методички)

Расчетный параметр	Значения параметра при относительном износе $h_0 = h/h_3$			
	0	0,25	0,50	0,75
$h$ , мм				
$b$ , мм				
$G_{H1}$ , кН				
$G_{H2}$ , кН				
$G_{H3}$ , кН				
$G_{H4}$ , кН				

Результаты расчетов представить графически в виде зависимостей  $G_{H.k}$  от  $h$ . На полученном рисунке выделить возможные области разрушения горной породы выбранным долотом первого класса.

# Области разрушения горной породы



Из рисунка следует, что рассматриваемое долото обеспечивает разрушение горной породы в четырех областях.

Новое долото начинает работать в 4-й области.

По мере роста притупления зубьев в результате их изнашивания возможности долота уменьшаются и наблюдается переход в 3-ю область и т.д.



# Расчет осевых нагрузок для долота 2-го класса

Расчет значения безразмерной нагрузки по формулам:

для зубков с цилиндрической рабочей поверхностью  
(долота МЗ, МСЗ, СЗ, ТЗ )

$$G'_{ц.мах} = k_{\partial} \cdot G_{\Pi} / G_s = (k_{\partial} \cdot G_{\Pi} \cdot \square C) / (v \cdot \sum d_i \cdot \pi \cdot R_{ц} \cdot \rho_{0зв}^2)$$

для зубков со сферической рабочей поверхностью  
(долота К, ОК)

$$G'_{с.мах} = k_{\partial} \cdot G_{\Pi} / G_s = (6 \cdot k_{\partial} \cdot G_{\Pi} \cdot d \cdot \square C^2) / (v \cdot \sum d_i \cdot \pi^3 \cdot R_c^2 \cdot \rho_{0зв}^3)$$

Геометрические характеристики зубков приведены в таблице 4.4. методички.

Результаты расчетов сопоставить с безразмерными нагрузками скачков для соответствующих зубков (см. таблицу 4.6) и определить область разрушения горной породы аналогично долотам со стальным вооружением.

Для долота типа ТЗ сделать расчеты как по обоим формулам, т.к. периферийные венцы оснащены зубками со сферической рабочей поверхностью, а венцы центральных венцов – зубками с цилиндрической рабочей поверхностью.

# Расчет осевых нагрузок для долота 2-го класса

Верхняя и нижняя нагрузки на долота с зубками с цилиндрической рабочей поверхностью определяются по формуле:

$$G_{B(H)} = G'_{\kappa(k-1)ц} \cdot G_S / k_D = G'_{\kappa(k-1)ц} \pi R_{ц} p_{озв}^2 v \sum d_i / k_D \bar{C}$$

Верхняя и нижняя нагрузки на долота с сферическими зубками определяются по формуле:

$$G_{B(H)} = G'_{\kappa(k-1)с} \cdot G_S / k_D = G'_{\kappa(k-1)с} \pi^3 R_c^2 p_{озв}^3 v \sum d_i / k_D \bar{C}^2 6d$$

В случае  $G_{н.к} > G_{п}$  перейти в  $(k - 1)$ -ю область разрушения горной породы и пересчитать нагрузки.

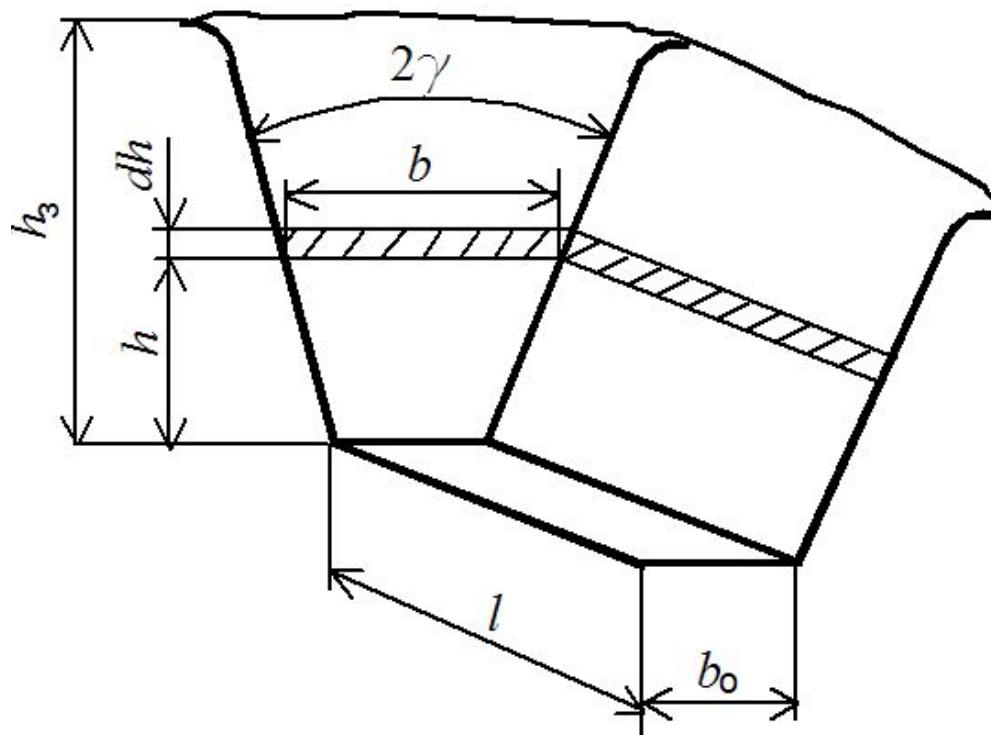
В случае  $G_{в.к} > G_{п}$  принять  $G_{в.к} = 0,8G_{п}$ .

Если имеет место четвертая область разрушения породы, то верхняя нагрузка области не рассчитывается, а принимается равной 80 % от предельной  $G_{п}$  ( $0,8G_{п}$ ).

## РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ ДОЛОТА ПЕРВОГО КЛАССА (стальное фрезерованное)

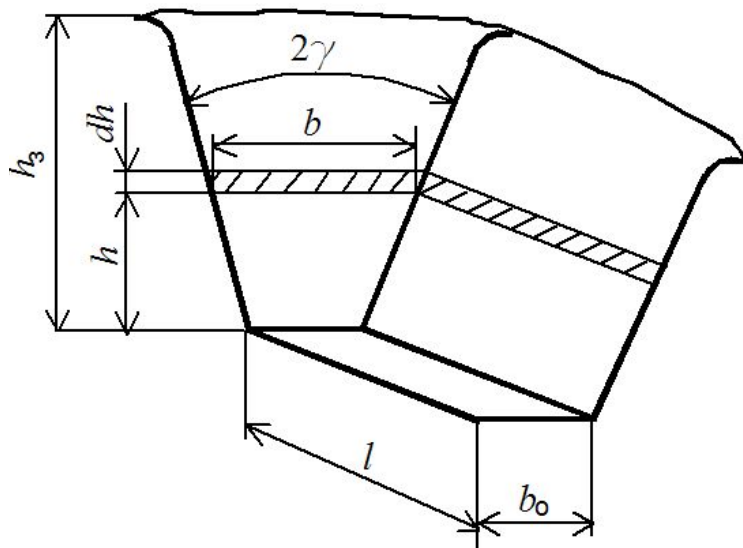
Долговечность вооружения долота  $T$  – время в часах за которое зубья долота изнашиваются на предельную заданную величину  $h_{\text{п}}$ .

Рассчитывается на долговечность один элемент вооружения в виде притупленного клина, имеющий средневзвешенные размеры.





# РАСЧЕТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ ДОЛОТА ПЕРВОГО КЛАССА (стальное фрезерованное)



Скорость изнашивания вооружения:

$$a = \frac{dh}{dt},$$

где  $h$  - износ зубьев по высоте;  
 $t$  – время.

**Зависимость скорости изнашивания от удельной мощности трения ( $a$  от  $N_{уд}$ ):**

для кристаллических пород

$$a = AN_{уд}^k,$$

для обломочных пород

$$a = AN_{уд} + B$$

где  $A$ ,  $B$  и  $k$  – экспериментальные коэффициенты, зависящие от абразивности горной породы и материала вооружения долота;

$N_{уд}$  - удельная мощность трения (мощность трения, приходящаяся на единицу рабочей поверхности вооружения долота), Вт/мм<sup>2</sup>.

Долговечность  $T$  вооружения долота 1-го класса соответствует времени изнашивания зуба на величину  $h_{п} = 0,75hз$ .

Скорость изнашивания (дифференциальное уравнение):

$$a = \frac{dh}{dt}$$

Отсюда получаем:

$$dt = \frac{dh}{a} \quad \text{- дифференциал времени изнашивания}$$

Решаем уравнение:

Для кристаллических пород:

$$\int_0^T dt = \int_0^{h_n} \frac{dh}{a} = \int_0^{h_{п}} \frac{dh}{A \times N_{уд}^k}$$

Обломочные горные породы:

$$\int_0^T dt = \int_0^{h_n} \frac{dh}{a} = \int_0^{h_{п}} \frac{dh}{A \times N_{уд} + B}$$

где:  $T$  - долговечность вооружения долота – время за которое зубья изнашиваются на величину  $h_{п}$ ;

$N_{уд}$  - удельная мощность трения, Вт/мм<sup>2</sup>;

$A$ ,  $B$  и  $k$  – экспериментальные коэффициенты

## Удельная мощность трения:

$$N_{уд} = \frac{A_c \times N}{K_0 \times l \times (b_0 + 2h \times \operatorname{tg} \gamma) \sum z}$$

где:

**$A_c$**  - доля работы сил трения, зависит от скалывающей способности вооружения долота:

Подгруппа долота	первая	вторая	третья
$A_c$	0,30	0,40	0,45

**$N$**  - мощность, реализуемая долотом, Вт:

$$N = 5,14 \cdot c \cdot 10^{-3} \cdot n_{\partial} \cdot D^{0,4} \cdot G_D^{1,3},$$

где:

$G_D$  – осевая нагрузка на долото, кН ( $G_D = G_{\Gamma}$ );

$D$  – диаметр долота, мм;

$n_{\partial}$  – частота вращения долота, об/мин;

$c$  – коэффициент, зависящий от твердости горных пород:

$$c = 7,733 - 0,487 \bar{H} + 48,08 k_{осм} - 0,0024 n_{\partial}$$

$\bar{H}$  – средняя твердость горных пород в категориях;

$K_{осм}$  – относительное смещение осей шарошек долота в плане (см. таблицу 4.3)

## Удельная мощность трения:

$$N_{уд} = \frac{A_c \times N}{K_0 \times l \times (b_0 + 2h \times \operatorname{tg} \gamma) \sum z}$$

где:

$K_0$  – коэффициент, учитывающий увеличение рабочей поверхности зубьев за счет скругления при износе, принять  $K_0 = 1,4$ ;

$l$  – средняя длина рабочей поверхности зуба, принять равной

$$l = \sum l_i / m_{\text{в}},$$

где  $m_{\text{в}}$  – число венцов на шарошках (см. таблицу 4.3);

$b_0$  – начальное притупление зубьев (см. табл. 4.3);  $h$  – износ зубьев по высоте;

$\gamma$  – половина угла при вершине зуба (см. таблицу 4.7);

$\sum z$  – сумма зубьев долота (см. таблицу 4.3)

## Интенсивность мощности трения

(мощность трения, приходящаяся на единицу длины зуба, Вт/мм):

$$N_i = \frac{A_c \times N}{K_0 \times l \times \sum z}$$

**отсюда:**

$$N_{уд} = \frac{N_i}{(b_0 + 2h \times \operatorname{tg} \gamma)}$$

Решением дифференциального уравнения (5.1) пособия по формулам, изложенным на предыдущих слайдах, получаем следующие расчетные формулы для долговечности  $T$  вооружения долота:

при бурении кристаллических пород

$$T = \frac{(b_0 + 2h_i \cdot \operatorname{tg}\gamma)^{k+1} - b_0^{k+1}}{2AN_i^k (k+1)\operatorname{tg}\gamma}.$$

при бурении обломочных пород

$$T = \frac{h_n}{B} - \frac{AN_i}{2B^2\operatorname{tg}\gamma} \ln \left| 1 + \frac{2Bh_n \cdot \operatorname{tg}\gamma}{AN_i + Bb_0} \right|.$$

Коэффициенты  $A$  и  $k$  уравнения или  $A$  и  $B$  уравнения определяем по средним значениям показателей абразивности  $a_{21}$  и  $a_{25}$  при удельных мощностях трения соответственно 1 и 5 Вт/мм<sup>2</sup> решением соответствующих систем из двух уравнений (см. далее)

## Расчетные формулы для коэффициентов $A$ , $B$ и $k$ :

для кристаллических пород  
из уравнения

$$a = AN_{y\partial}^k,$$

получаем систему  
уравнений:

$$\bar{a}_{21} = A \times 1^k$$

$$\bar{a}_{25} = A \times 5^k$$

Откуда находим:

$$A = \bar{a}_{21}$$

$$\ln \bar{a}_{25} = \ln A + k \ln 5$$

$$k = (\ln \bar{a}_{25} - \ln A) / \ln 5$$

для обломочных пород  
из уравнения

$$a = AN_{y\partial} + B$$

получаем систему  
уравнений:

$$\bar{a}_{21} = A \times 1 + B$$

$$\bar{a}_{25} = A \times 5 + B$$

## Далее

Результаты расчета по формулам (5.4) или (5.5) при

$$h = 0; h = 0,25hz; h = 0,50hz \text{ и } h = h_n = 0,75hz$$

представить в виде графика, на который дополнительно нанести ожидаемую стойкость  $T_o$  опор шарошек:

$$T_o = T_{02} + (n_2 - n)(T_{01} - T_{02}) / (n_2 - n_1),$$

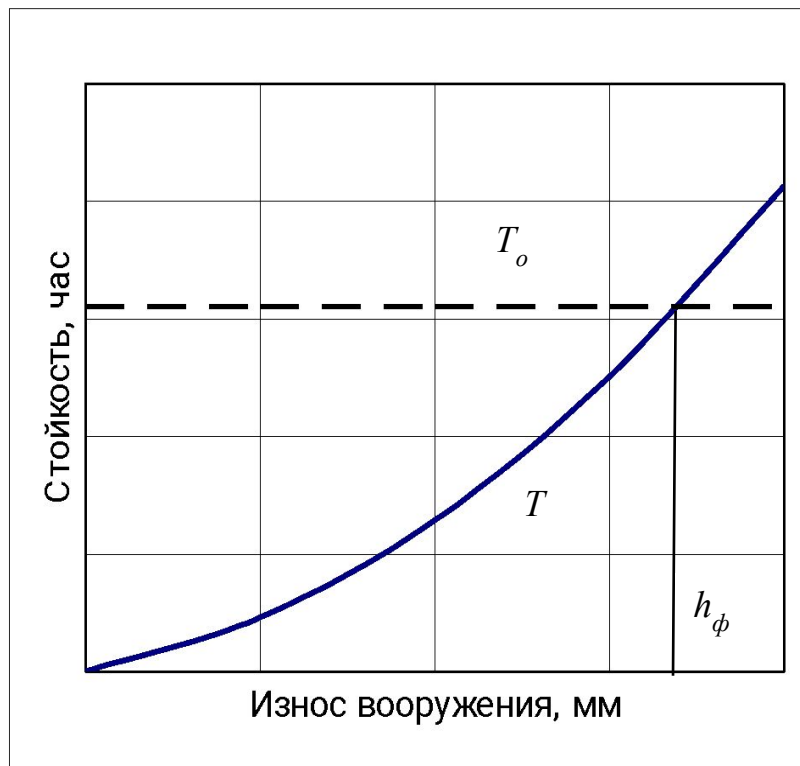
где

$T_{02}$  и  $T_{01}$  – меньшее и большее значения стойкости опоры;

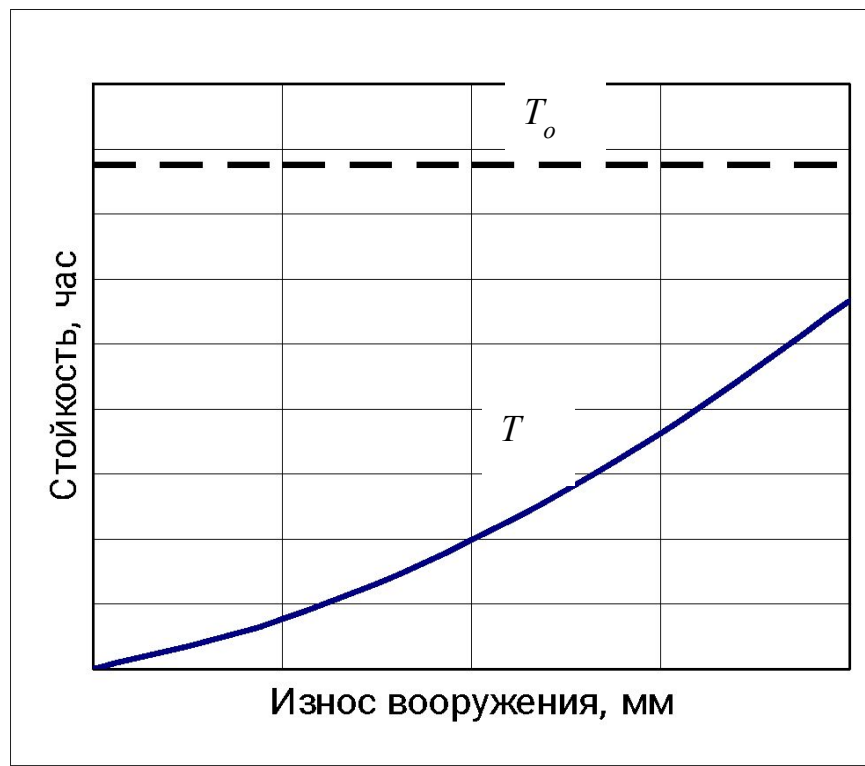
$n_2$  и  $n_1$  – большее и меньшее значения частот вращения, взятые из таблицы 4.2. методички.

Требуемый график построен в двух вариантах (а и б):

Время  $T$  изнашивания зубьев на величину  $h$  и стойкость  $T_o$  опор



**а**



**б**

**а -  $T_{в} \geq T_o$**  - при бурении долотом 1-го класса будет использован ресурс опор долота

**б -  $T_{в} < T_o$**  - при бурении долотом 1-го класса ресурс опор использован не будет



# Выбор основного долота

Для окончательного выбора основного долота необходимо ответить на следующие вопросы:

Обеспечивается ли долотами объемное разрушение горной породы ?

Долото какого класса обеспечивает более высокую область разрушения?

Обеспечивает ли долото 1-го класса использование ресурса опоры?

**В ИТОГЕ**

**в качестве основного долота**

**Выбираем долото  
1-го класса**

**ИЛИ**

**Выбираем долото  
2-го класса**

## Выбор основного долота

Поскольку долото 1-го класса работает в нескольких областях разрушения, то для сравнения с долотом 2-го класса рассчитывается средневзвешенная область разрушения с учетом того, что стойкость долота равна стойкости опоры, при этом вооружение изношено не на величину  $h_{п}$ , а только на величину  $h_{ф}$ :

$$\tilde{k} = \frac{4T_4 + 3(T_3 - T_4) + 2(T_2 - T_3) + 1(T_0 - T_2)}{T_0}$$

где  $\tilde{k}$  – номер средневзвешенной области разрушения горной породы;  $T_0$  – стойкость опор долота;  $T_1, T_2, T_3, T_4$  – время в часах, соответствующее износу зуба долота на величины  $h_{ф}, h_2, h_3, h_4$  ([см. рисунок 4.3](#)).

Стойкость опоры в соответствии с расчетами находится в интервале:

$$T_2 < T_0 < T_1.$$

Исходя из этого, по [рис.4.3](#), долото работало в 4-й области  $T_4$  часов, в 3-й области  $(T_3 - T_4)$  часов, во 2-й области  $(T_2 - T_3)$  часов и в 1-й области  $T_0 - T_2$  часов.

Полученную величину  $\tilde{k}$  округлить до ближайшего целого числа и сопоставить с областью разрушения, обеспечиваемой долотом 2-го класса.

# Расчет гидромониторной системы промывки долота

*Промывка или продувка* скважины должны обеспечивать полное и своевременное удаление шлама с забоя и из скважины, а также обеспечивать работу гидравлических забойных двигателей.

В курсовой работе ограничиться выбором  $Q$  из условия очистки забоя:

$$Q = q_{y\partial} S_3,$$

где  $q_{y\partial}$  – удельный расход бурового раствора, м<sup>3</sup>/с · м<sup>2</sup> или м/с;

$S_3$  – площадь забоя скважины:

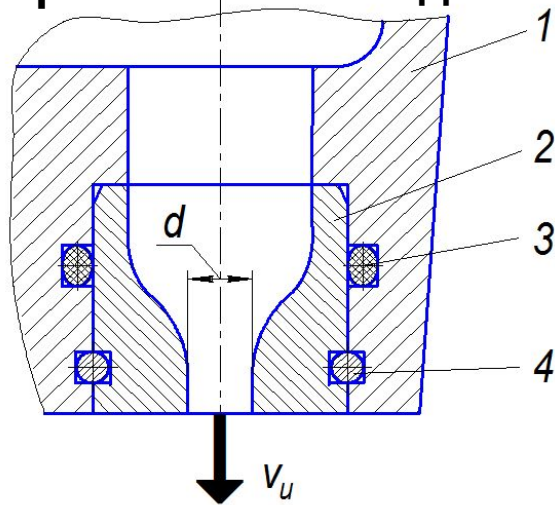
$$S_3 = 0,785D^2,$$

где  $D$  - диаметр долота, м.

Величина  $q_{y\partial}$  находится в пределах **0,57...0,65** м/с  
для кристаллических пород принять  $q_{y\partial} = 0,57$ ,  
а для песчано-глинистых обломочных –  $q_{y\partial} = 0,65$  м/с

# Расчет гидромониторной системы промывки долота

Гидромониторный узел долота с гвоздевым креплением насадки



В случае гидромониторного долота необходимо обеспечить скорости истечения жидкости  $v_u$  из насадок от 60 до 120 м/с.

По величине выбранного расхода жидкости  $Q$  и скорости истечения рассчитать диаметры  $d$  насадок и перепад давления на гидромониторном долоте.

- 1 - корпус долота;
- 2 - насадка;
- 3 - резиновое уплотнительное кольцо;
- 4 - гвоздь, крепящий насадку в корпусе долота